

**ANALISIS SUSUT DAYA LISTRIK PADA PENYULANG 20 KV GARDU  
INDUK WONOGIRI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan Teknik  
Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**DEDDI NUR SETIAWAN**

**D400140002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS SUSUT DAYA LISTRIK PADA PENYULANG 20 KV  
GARDU INDUK WONOGIRI**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**DEDDI NUR SETIAWAN**

**D400140002**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Jatmiko, MT**

**NIK.622**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS SUSUT DAYA LISTRIK PADA PENYULANG 20 KV**  
**GARDU INDUK WONOGIRI**

OLEH  
**DEDDI NUR SETIAWAN**

D400140002

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Senin, 23 Juli 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. **Ir. Jatmiko, MT**  
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Agus Supardi, ST, MT.**  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. **Tindyo Prasetyo, ST.**  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., D., I.P.M**

NIK. 681

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 23 Juli 2018

Penulis

  
**DEDDI NUR SETIAWAN**

**D4000140002**

# **ANALISIS SUSUT DAYA LISTRIK PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK WONOGIRI**

## **Abstrak**

Pendistribusian daya listrik dari pembangkit hingga ke konsumen terjadi hilangnya daya listrik. Hilangnya daya akan selalu ada, karena peralatan yang digunakan tidak memiliki tingkat efisiensi 100%, kandungan tahanan pada penghantar yang bersifat permanen dan sifat alamiah jaringan. Pemadaman bergilir dilakukan untuk menghindari pemadaman total. Hal ini menyebabkan daya yang dikirim ke pelanggan menjadi lebih kecil. Perkembangan dan pembangunan di wilayah Wonogiri semakin meningkat seiring dengan gaya hidup masyarakat yang modern mengakibatkan meningkatnya kebutuhan listrik. Analisis yang dilakukan di gardu induk Wonogiri pada jaringan menengah 20 kV yang terdapat pada penyulang kota (WNI 3) untuk mengetahui nilai susut daya pada penyulang tersebut. Metode penelitian yang digunakan dengan pengumpulan referensi, selanjutnya pengambilan data pada transformator 20 kV yang terdapat pada gardu induk Wonogiri pada saat beban puncak yaitu pada jam 10.00 siang dan jam 19.00 malam. Tegangan menengah 20 kv wonogiri pada penyulang kota menggunakan penghantar AAAC 240 mm<sup>2</sup>. Hasil dari perhitungan yang dilakukan pada penyulang kota mengalami beban puncak siang sebesar 131,5 A dan beban puncak malam sebesar 263 A. Dengan puncak siang dan malam yang sudah diketahui tersebut maka dihasilkan nilai susut daya pada beban puncak siang sebesar 55,295583 kw dengan nilai persentase sebesar 1,3 % sedangkan pada beban puncak malam sebesar 221,82 kw dengan nilai persentase 2,7 %. Dari hasil tersebut maka transformator penyulang kota (WNI 3) masih bagus dan masih layak digunakan.

**Kata kunci :** Susut Daya, Tegangan menengah, Transformator, Penyulang

## **Abstract**

The distribution of electrical power from the generator to the consumer is a loss of electrical power. The lack of power will always be there, because the equipment used does not have a 100% efficiency level, the content of the prisoner in the conductor is permanent and the nature of the network. Rotating blackouts are done to avoid total blackout. This causes the power delivered to customers to be smaller. Development and development in the Wonogiri region is increasing in line with the modern lifestyle of society resulting in increased electricity demand. The analysis carried out in the Wonogiri substation on the medium 20 kV network contained in the city repeater (WNI 3) to determine the value of the shrinkage of power on the feeder. The research method used with reference collection, then data pengambilan on 20 kV transformer found on Wonogiri main substation at peak load that is at 10.00 noon and at 19.00 night. Medium volumes of 20 kv wonogiri on city buffer using AAAC 240 mm<sup>2</sup> carrier. The results of calculations performed on the city repeater experienced a peak afternoon load of 131.5 A and night peak load of 263 A. With the known day and night peak, the resulting loss of power at the peak afternoon is 55.295583 kw with the percentage value of 1.3% while at night peak load of 221.82 kw with a percentage of 2.7%. From these results, the city feeder transformer (WNI 3) is still good and still suitable for use.

**Keywords:** PowerLoss, Medium voltage, Transformer, Fedder

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik di zaman moderen adalah kebutuhan pokok bagi masyarakat, perkantoran, industri, dan lain sebagainya, semua aktifitas masyarakat tidak lepas dari energi listrik. Wonogiri merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang kebutuhan listriknya semakin meningkat karena berdirinya pabrik-pabrik di daerah tersebut.

Sistem jaringan kelistrikan meliputi bagian pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Sistem pembangkit merupakan sumber utama dalam pembangkitan tenaga listrik, dan sistem transmisi yaitu penghantar yang menyalurkan tenaga listrik jarak jauh dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui transmisi, sedangkan sistem distribusi berfungsi sebagai sistem yang menyalurkan atau mendistribusikan energi listrik ke konsumen.

Tenaga listrik di salurkan melalui jalur transmisi yang menghasilkan sebagian besar daya dari stasiun pembangkit ke pusat beban dan konsumen. Kerugiannya adalah kerugian teknis atau non teknis. Mempelajari berbagai jenis kerugian yang tak terhitung selama transmisi listrik. Kerugian teknis terdiri dari kerugian korona, efek joule, kerugian magnetik dan efek kulit. Sementara kerugian non teknis termasuk, pencurian listrik, *vandalism* gardu listrik, pembacaan meteran yang buruk, akutansi yang buruk dan pencatatan, dan lain lain. Dalam penyaluran energi listrik untuk mendapatkan konsumen akhir dalam bentuk yang tepat dan kualitas, kerugian transmisi dan distribusi harus dikurangi seminim mungkin. (Shahzad dan kawan-kawan, 2015).

Terkait dengan susut daya listrik 20 kV ada beberapa penelitian dan *study* yang telah dilakukan. Permasalahan yang dialami PLN yaitu besarnya rugi-rugi daya yang menyebabkan daya yang dikirimkan tidak sebesar daya yang dihasilkan. Banyak faktor yang berhubungan dengan rugi-rugi daya tersebut, salah satunya yaitu jumlah pemakai. Selain itu beberapa masalah teknis terintegrasi pada tegangan rendah termasuk ketidakseimbangan tegangan dan efisiensi sistem distribusi (Chua dan Lim, 2012).

Susut daya listrik pada sistem distribusi primer tidak dapat dihindari dari penyaluran energi listrik ke konsumen, karena adanya rugi-rugi dari panjangnya penghantar. Pada umumnya, susut daya distribusi berkisar 10% (APEI, 2003).

Susut daya saluran distribusi primer yang diakibatkan dari teknis ataupun non teknis perlu diperhatikan, karena saat penyaluran energi listrik akan menimbulkan hilangnya energi listrik yang disalurkan ke pelanggan. Hilangnya energi listrik yang terjadi mengakibatkan kerugian bagi PLN bahkan dapat menimbulkan pemadaman listrik. Penelitian yang dilakukan di sistem 20 kV gardu induk Wonogiri bertujuan untuk

mengetahui seberapa besar nilai susut daya listrik yang terjadi pada penyulang WNI 3 (penyulang kota).

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa susut daya listrik pada penyulang WNI 3 20 kV pada gardu induk Wonogiri untuk itu parameter-parameter yang dibutuhkan sesuai dengan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perhitungan susut daya yaitu, jenis penampang, luas penampang, panjang penampang, dan beban puncak. Data-data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan susut daya listrik, sehingga didapatkan nilai susut daya listrik.

### 2.1 Resistansi Saluran (R)

Resistansi dari penghantar saluran distribusi adalah penyebab yang utama dari rugi daya (*losses*) pada saluran distribusi. Resistansi dari suatu konduktor (kawat penghantar) diberikan oleh:

$R = \text{Power Loss dalam konduktor} / I^2$  (ohm)

Resistansi *direct-current* (RDC) diberikan dengan rumus:

$$R_{dc} = \frac{\text{Power Loss dalam konduktor}}{I^2} (\Omega) \quad (1)$$

Dimana :

$P$  : *resistivity* konduktor (  $\Omega.m$  )

$I$  : panjang konduktor (m)

$A$  : *cross sectional area* ( $mm^2$ )

Nilai *resistivity* konduktor pada temperatur 20°C :

untuk tembaga,  $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$  atau  $= 1,77 \times 10^{-8} \Omega$ .

untuk aluminium,  $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$  atau  $= 2,83 \times 10^{-8} \Omega$ .

Konduktor pilin 3 standar menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan standar terkonsentrasi (*concentrically stranded conductors*), menyebabkan kenaikan resistansi 2%. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari rumus berikut :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \quad (2)$$

Dimana  $R_1$  dan  $R_2$  adalah resistansi masing-masing konduktor pada temperatur  $t_1$  dan  $t_2$ , dan  $T$  adalah suatu konstanta yang nilainya sebagai berikut :

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%.

## 2.2 Induktansi saluran (L)

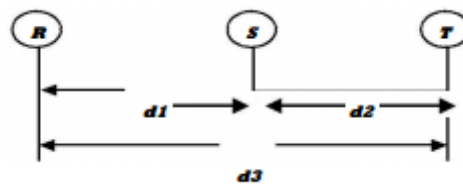
Induktansi saluran menggambarkan besarnya *fluks* magnet yang dihasilkan untuk setiap ampere arus dari saluran, atau menggambarkan besarnya tegangan induksi untuk setiap perubahan arus terhadap waktu, karena *fluks* magnet yang dihasilkan oleh setiap ampere arus sangat tergantung dari konfigurasi saluran.

Reaktansi saluran (XL) dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan induktansi saluran terlebih dahulu. Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = (0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (3)$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Untuk menentukan besarnya jarak antar konduktor pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan persamaan:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}} \quad (4)$$



Gambar 1. Konfigurasi *Horizontal* Konduktor Tiga Fasa

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2 \quad (5)$$

$$\text{Maka, } r = \sqrt{A/\pi} \quad (6)$$

$$XL = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (7)$$

dimana:

XL= Reaktansi induktif saluran ( $\Omega/\text{km}$ )

2 = sudut arus bolak-balik



F = frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi konduktor (H/m)

### 2.3 Kapasitas Penyaluran

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta \quad (8)$$

Dimana :

V = Beban puncak

I = Arus

$\cos\theta$  = Faktor Daya Beban

### 2.4 Susut Daya

$$\Delta P_{loss} = 3I^2 R \ell \text{ (watt)} \quad (9)$$

dimana :

$\Delta P_{loss}$  = Susut Daya (Watt)

I = Arus beban yang mengalir pada Jaringan (A)

R = Resistansi Jaringan (Ohm/km)

$\ell$  = Panjang Jaringan (km)

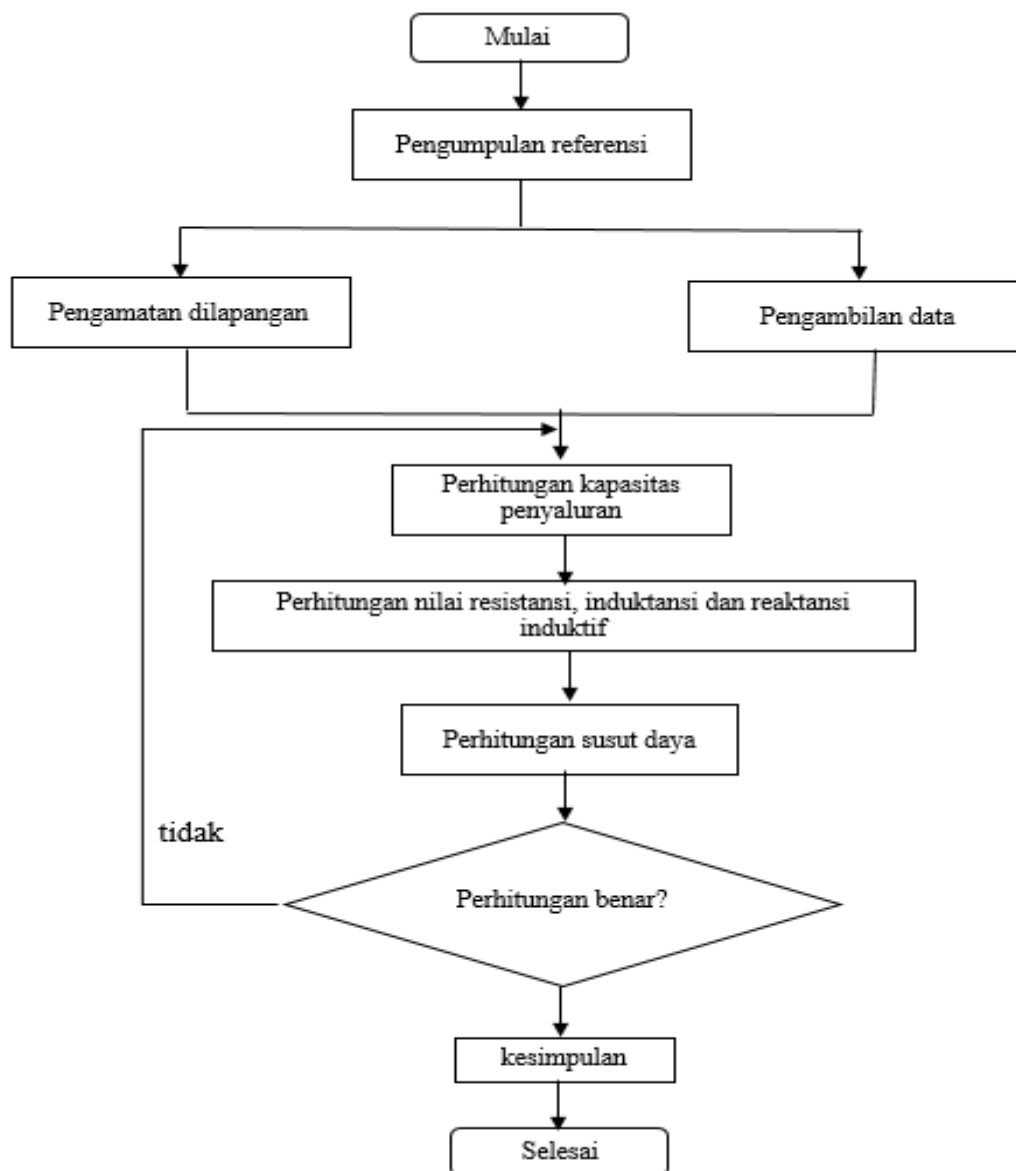
### 2.5 Daya yang diterima Konsumen

$$\text{Daya yang diterima} = \text{Daya Beban Puncak} - \text{Total } \Delta P_{loss} \quad (10)$$

$$\eta = \frac{\text{daya yang diterima}}{\text{daya beban puncak}} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana :

$\eta$  = Persentase daya yang diterima konsumen



Gambar 2. *flowchart*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang dilakukan di gardu induk Wonogiri didapatkan data dari penyulang WNI 3 yaitu bagian kota, data tersebut yaitu :

Tabel 1. Data Transformator 20 kV WNI 3

NO	Transformator Penyulang 20 kV WNI 3	
1	Merk	Schneider
2	Arus	2000
3	Tegangan	24 kV

4	Tahanan tegangan impuls	125 kV
5	Frekuensi	50 Hz
6	Arus puncak	63 kAp
7	Arus waktu singkat	25 kA/s
8	Tahun pembuatan	2012

Tabel 2. Jenis dan panjang penghantar yang digunakan

No	Jenis Penghantar	Panjang Penghantar
1	AAAC 240 mm <sup>2</sup>	6,7 kms

Tabel 3. Beban puncak

No	Waktu	Nilai
1	Siang (10.00)	131,5 A
2	Malam (19.00)	263 A

### 3.1 Perhitungan resistansi saluran

Perhitungan resistansi menggunakan suhu 60<sup>0</sup> sebagai asumsi beban puncak dan suhu 20<sup>0</sup> untuk suhu rendah. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan 2

$$\begin{aligned}
 R_{t_2} &= 0,137 \times \frac{228 + 60}{228 + 20} \\
 &= 0,137 \times \frac{288}{248} \\
 &= \frac{39,456}{248} \\
 &= 0,15909 \, \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

$$R_{ac} = K \times R_2$$

$$= 1,02 \times 0,15909$$

$$= 0,1622$$

### 3.2 Perhitungan Nilai Induktansi Konduktor

Sebelum menghitung reaktansi saluran terlebih dahulu menghitung jarak antar konduktor (D) dan radius konduktor (r) menggunakan persamaan 4 dan 6 yaitu,

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[3]{0,8 \times 0,8 \times 1,6} \\ &= \sqrt[3]{1,024} \\ &= 1,0079 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{240 \times 10^{-6}}{3,14}} \\ r &= \sqrt{7,6433 \times 10^{-5}} \\ r &= 2,7645 \times 10^{-4} \\ &= 0,00027645 \end{aligned}$$

Nilai D dan r yang didapat selanjutnya menghitung nilai Induktansi dari konduktor (L) dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned} L &= (0,5 + 4,6 \log 10 \left( \frac{1,0079 - 0,00027645}{0,00027645} \right)) \times 10^{-7} \\ L &= (0,5 + 4,6 \log 10(3644,867)) \times 10^{-7} \\ L &= (0,5 + 4,6 (\log 10 + \log 3644,867)) \times 10^{-7} \\ L &= (0,5 + 4,6(1 + 3,56168)) \times 10^{-7} \\ L &= (0,5 + (4,6 \times 4,56168)) \times 10^{-7} \\ L &= (0,5 + 20,98373) \times 10^{-7} \\ L &= 21,48373 \times 10^{-7} \text{ H/m} \\ L &= 21,48373 \times 10^{-1} \text{ mH/km} \end{aligned}$$

### 3.3 Perhitungan Nilai Reaktansi Induktif

Setelah diketahui nilai dari induktansi selanjutnya menghitung nilai reaktansi induktif (XL) dengan persamaan 7.

$$\begin{aligned} XL &= 2 \times 3,14 \times 50 \times 21,48393 \times 10^{-4} \\ &= 6745,95402 \times 10^{-4} \Omega/\text{km} \\ &= 0,674595402 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

### 3.4 Perhitungan kapasitas penyaluran

Perhitungan kapasitas penyaluran menggunakan persamaan 8.

Beban puncak siang = 131,5 A

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times 2000 \times 131,5 \times 0,9$$

$$P_{3\phi} = 4099764,261 \text{ watt}$$

$$P_{3\phi} = 4,09 \text{ MW}$$

Beban puncak malam = 263 A

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times 2000 \times 263 \times 0,9$$

$$P_{3\phi} = 8199528,523 \text{ watt}$$

$$P_{3\phi} = 8,19 \text{ MW}$$

Dengan perhitungan kapasitas tersebut, dapat dilihat bahwa besarnya nilai beban puncak siang dan malam yaitu 4,09 MW dan 8,19 MW.

### 3.5 Perhitungan Nilai Susut Daya

Perhitungan susut daya saluran menggunakan data arus sesuai kondisi masing–masing beban puncak. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan 9.

Beban puncak siang = 4,09MW

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (131,5)^2 \times 0,15909 \times 6,7$$

$$\Delta P_{loss} = 55295,583 \text{ watt}$$

$$\Delta P_{loss} = 55,295583 \text{ kw}$$

$$\Delta P_{loss} = 0,055296 \text{ MW}$$

$$\% = \frac{55295583}{4099764} \times 100\% \\ = 1,3\%$$

Beban puncak malam = 8,19 MW

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (263)^2 \times 0,15909 \times 6,7$$

$$\Delta P_{loss} = 221182,333 \text{ watt}$$

$$\Delta P_{loss} = 221,182 \text{ kw}$$

$$\Delta P_{loss} = 0,221182 \text{ MW}$$

$$\% = \frac{221182,333}{8199528} \times 100\% \\ = 2,7\%$$

### 3.6 Perhitungan Nilai Daya Yang Diterima Konsumen

Besarnya daya yang bisa diterima oleh konsumen menggunakan persamaan 10 dan 11.

Siang

$$\text{Daya yang diterima konsumen} = 4099764 - 55295,583$$

$$\text{Daya yang diterima konsumen} = 4044468,417$$

Efisiensi Penyaluran

$$\eta = \frac{4044468,417}{4099764} \times 100\%$$

$$= 98,7\%$$

Malam

Daya yang diterima konsumen = 8199528 – 221182,333

Daya yang diterima konsumen = 7978345,667

$$\eta = \frac{7978345,667}{8199528} \times 100\%$$

$$\eta = 97,3\%$$

#### **4. PENUTUP**

Hasil dari perhitungan susut daya terhadap penyulang WNI 3 digardu induk 150 kV Wonogiri, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Penyebab susut daya listrik diantaranya nilai resistansi, nilai reaktansi, panjang penghantar yang berpengaruh terhadap nilai susut daya dan faktor daya beban yang mempengaruhi daya kapasitas penyaluran beban puncak.
- 2) Nilai resistansi dari penghantar AAAC 240mm<sup>2</sup> adalah 0,1622 Ω/km dan nilai reaktansinya adalah 0,674595402 Ω/km
- 3) Susut daya penyulang WNI 3 pada beban puncak siang sebesar 55,295583 kw untuk beban puncak malam sebesar 221,182 kw. Adapun nilai persentase susut daya yaitu 1,3% untuk beban puncak siang dan 2,7% untuk beban puncak malam. Daya yang diterima pelanggan pada beban puncak siang sebesar 98,7% dan pada beban puncak malam sebesar 97,3%.
- 4) Dari hasil perhitungan susut daya yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa transformator pada penyulang WNI 3 masih bagus dan masih layak digunakan.

#### **PERSANTUNAN**

Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan bersyukur kepada pihak-pihak yang membantu terselesaikannya penulisan tugas akhir:

1. Allah SWT yang memberikan nikmat dan rahmat-Nya terhadap penulis.
2. Bapak dan ibu yang selalu memberi semangat dan mendoakan dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Ir. Jatmiko, MT selaku pembimbing tugas akhir.

4. Kakak, teman-teman kampung, dan teman teman teknik elektro yang selalu memberi motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Bapak Eka selaku *supervisor* dan semua staf di gardu induk 150 kV Wonogiri yang membantu dan memberikan pengarahan serta memotivasi dalam penulisan tugas akhir yang dilakukan oleh penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhaiti, Shahzad Sarwar. Dkk. (2015). *Electric Power Transmission and Distribution Losses Overview and Minimization in Pakistan*. Volume 6 hlm (1108-1112) International Journal of Scientific & Engineering Research.
- Binilang, Rizky. Dkk. (2017). *Studi Analisa Rugi Daya Pada Saluran Distribusi Primer 20 kV Di Kota Tahuna*. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer vol. 6 no.2.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/16938>. (Selasa, 13 Maret 2018. 18.34).
- Chua, KH dan YS Lim. (2012). *Energy Storage System for Mitigating Voltage Unbalance on Low-Voltage Networks with Photovoltaic Systems*. Volume 27 hlm (1783-1790). IEEE Transactions on Power Delivery.
- Chen, Weili. dkk. (2013). *Economic Benefit Analysis of 220 kV Energy-saving Power Transformer*. Volume 5 hlm (1303-1307). Energy and Power Engineering.
- Marniati, Yessi dan Hanifatulah, Quratul Aini. (2018). *Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV pada Gardu Induk Bungaran dengan ETAP 12.6*. Universitas Negeri Sriwijaya, Palembang
- PT. PLN (Persero). (2012). *Desain Kriteria Jaringan Distribusi*. Jakarta: PT. PLN (Persero) Pusat Pelatihan dan Pendidikan, hlm. 12-17.
- Stevenson, William D. (1994). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Theraja B.L. (1983). *Worked Examples In Electrical Technology*. New Delhi: Techouse, hlm. 75.
- Zuhal, (1995). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.